



**SCHWEIZERISCHE EIDGENOSSENSCHAFT
CONFÉDÉRATION SUISSE
CONFEDERAZIONE SVIZZERA**

Bescheinigung

Die beiliegenden Akten stimmen mit den ursprünglichen technischen Unterlagen des auf der nächsten Seite bezeichneten Patentgesuches für die Schweiz und Liechtenstein überein. Die Schweiz und das Fürstentum Liechtenstein bilden ein einheitliches Schutzgebiet. Der Schutz kann deshalb nur für beide Länder gemeinsam beantragt werden.

Attestation

Les documents ci-joints sont conformes aux pièces techniques originales de la demande de brevet pour la Suisse et le Liechtenstein spécifiée à la page suivante. La Suisse et la Principauté de Liechtenstein constituent un territoire unitaire de protection. La protection ne peut donc être revendiquée que pour l'ensemble des deux Etats.

Attestazione

I documenti allegati sono conformi agli atti tecnici originali della domanda di brevetto per la Svizzera e il Liechtenstein specificata nella pagina seguente. La Svizzera e il Principato di Liechtenstein formano un unico territorio di protezione. La protezione può dunque essere rivendicata solamente per l'insieme dei due Stati.

Bern, 31. OKT. 2003

Geistiges Eigentum
Eidgenössisches Institut für Geistiges Eigentum
Institut Fédéral de la Propriété Intellectuelle
Istituto Federale della Proprietà Intellettuale

Patentverfahren
Administration des brevets
Amministrazione dei brevetti

H. Jenni
Heinz Jenni

de 19 Proprietate intelectuală

Activitate

Patentgesuch Nr. 2002 1923/02

HINTERLEGUNGSBESCHEINIGUNG (Art. 46 Abs. 5 PatV)

Das Eidgenössische Institut für Geistiges Eigentum bescheinigt den Eingang des unten näher bezeichneten schweizerischen Patentgesuches.

Titel:

Verfahren und Vorrichtung zur Kalibrierung eines Messsystems.

Patentbewerber:

Leica Geosystems AG
Mönchmattweg 5
5035 Unterentfelden

Vertreter:

Frei Patentanwaltsbüro
Postfach 768
8029 Zürich

Anmeldedatum: 15.11.2002

Voraussichtliche Klassen: G01B, G01C

THIS PAGE BLANK (USPTO)

VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR KALIBRIERUNG EINES MESSSYSTEMS

Die Erfindung liegt auf dem Gebiete der Messtechnik und betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung nach den Oberbegriffen der entsprechenden, unabhängigen Patentansprüche. Verfahren und Vorrichtung dienen zur Kalibrierung eines Messsystems, das zur Bestimmung von räumlichen Position und Orientierung von Objekten anwendbar ist und das ein Messgerät mit einem Lasertracker und einem optoelektronischen Sensor, einen Systemrechner und ein Messhilfeobjekt aufweist.

Der Begriff Lasertracker oder Tracker wird im vorliegenden Zusammenhang verwendet für eine Vorrichtung, in der ein optischer Messstrahl, vorteilhafterweise ein Laserstrahl generiert wird und die ferner ausgerüstet ist mit einem optischen System zur Ausrichtung des Messstrahles auf einen Zielpunkt, der den Messstrahl parallel zurück zur Vorrichtung reflektiert (z.B. Würfeckenprisma), mit einem Mittel zur Analyse des reflektierten Messstrahles zur absoluten oder relativen Bestimmung der Länge des Strahlenganges und mit einem Mittel zur Erfassung der absoluten oder relativen Richtung des Messstrahles. Aus den erfassten Daten bezüglich Länge und Richtung des Strahlenganges zwischen dem Lasertracker und dem Reflektor können räumliche Koordinaten des Reflektors relativ zum Lasertracker berechnet werden. Das optische System des Trackers ist vorteilhafterweise derart ausgerüstet, dass der Messstrahl einem sich bewegenden Zielpunkt automatisch folgen kann. Lasertracker der Firma Leica Geosystems sind auf dem Markte erhältlich. Andere Geräte, wie bei-

spielsweise motorisierte Theodoliten, die zusätzlich über Mittel zur Distanzmessung verfügen, fallen ebenfalls unter die obige Definition.

Der Begriff optoelektronischer Sensor wird im vorliegenden Zusammenhang verwendet für eine Vorrichtung, mit der ein elektronisch auswertbares, zweidimensionales Bild einer räumlichen Anordnung von Lichtpunkten erstellbar ist. Der optoelektronische Sensor weist ein zweidimensionales, lichtempfindliches Array auf und ein Linsensystem mit einer optischen Achse. Er ist beispielsweise eine CCD- oder CID-Kamera oder basiert auf einem CMOS-Array. Zur Auswertung des zweidimensionalen Bildes sind üblicherweise Mittel vorgesehen zur Identifizierung der abgebildeten Lichtpunkte, zur Bestimmung der Schwerpunkte der abgebildeten Lichtpunkte und zur Bestimmung der Bildkoordinaten dieser Schwerpunkte, aus denen Raumwinkel zwischen der optischen Achse des Sensors und der Richtung vom Sensor zu den Lichtpunkten berechnet werden können.

Der Lasertracker und der optoelektronische Sensor sind im Messgerät des vorliegenden Messsystems derart aufeinander montiert, dass ihre Positionen relativ zueinander nicht veränderbar sind. Der Sensor ist beispielsweise zusammen mit dem Lasertracker um dessen im wesentlichen senkrechte Achse drehbar aber unabhängig vom Lasertracker auf und ab schwenkbar.

Messgeräte mit einem Lasertracker und einem optoelektronischen Sensor gemäss obiger Definitionen und mit einem Systemrechner zur Durchführung der genannten Berechnungen und deren Anwendung für die Bestimmung von Position und Orientierung von Objekten im Raum, an denen Lichtpunkte und Reflektoren angeordnet sind, gehören zum Stande der Technik. Solche Messgeräte sind auf dem Markte erhältlich (z.B. Theodolit Typ T3000V/D der Firma Leica). Bei der Verwendung solcher Messgeräte werden am Objekt, dessen Position und Orientierung zu bestimmen

ist, in relativ zum Objekt bekannten Positionen mindestens drei vom optoelektronischen Sensor registrierbare Lichtpunkte und mindestens ein den Messstrahl des Lasertrackers reflektierender Reflektor angeordnet. Die vom optoelektronischen Sensor zu registrierenden Lichtpunkte können aktive Lichtquellen (z.B. Leuchtdioden) sein
5 oder zu beleuchtende Reflektoren, wobei die Lichtpunkte derart ausgestattet oder angeordnet sind, dass sie eindeutig voneinander unterscheidbar sind.

Das Objekt, dessen Position und Orientierung mit dem genannten Messgerät vermessen wird, ist in verschiedenen Anwendungen nicht das zu vermessende Objekt selbst sondern es ist ein Messhilfsinstrument, das zum Messsystem gehört, das für die
10 Vermessung in eine relativ zum Zielobjekt mechanisch definierte oder während der Vermessung bestimmbare Position gebracht wird und über dessen vermessene Position und Orientierung auf Position und gegebenenfalls Orientierung des zu vermessenden Objektes geschlossen wird. Derartige Messhilfsinstrumente sind beispielsweise sogenannte Tastwerkzeuge, die mit ihrem Kontaktpunkt auf einem Punkt des
15 Zielobjektes positioniert werden. Lichtpunkte und Reflektor des Tastwerkzeuges haben relativ zum Kontaktpunkt genau bekannte Positionen. Solche Tastwerkzeuge sind auf dem Markte erhältlich (z.B. Optrek 3-D Co-ordinate Measuring Stylus der Firma Northern Digital Corp. Canada). Das Messhilfsinstrument kann aber auch ein beispielsweise von Hand gehaltener zur Distanzmessung ausgerüsteter Scanner für
20 berührungslose Oberflächenvermessungen sein, wobei Richtung und Position des für die Distanzmessung verwendeten Scanner-Messstrahles relativ zu Lichtpunkten und Reflektoren, die auf dem Scanner angeordnet sind, genau bekannt sind. Ein derartiger Scanner ist beispielsweise in der Publikation EP-0553266 (Schulz) beschrieben.

Offensichtlich stellen in einem Messsystem, wie es oben beschrieben ist, der Laser-
25 tracker und der Reflektor (oder die Reflektoren) des Messhilfsinstruments einerseits und der optoelektronische Sensor und die Lichtpunkte des Messhilfsinstrument andererseits zwei messtechnisch voneinander getrennte Systeme dar, die über die relative

Anordnung von Lasertracker und optoelektronischem Sensor im Messgerät und über die relative Anordnung von Lichtpunkten und Reflektor oder Reflektoren auf dem Messhilfsinstrument miteinander gekoppelt sind. Zur Korrelation der beiden Messsysteme ist eine Kalibrierung notwendig, wobei die Kalibrierung den Lasertracker und den optoelektronischen Sensor des Messgerätes und das Messhilfsinstrument betrifft.

Die Erfindung stellt sich die Aufgabe, ein Verfahren und eine Vorrichtung zu erschaffen, die der oben genannten Kalibrierung dienen. Verfahren und Vorrichtung gemäss Erfindung sollen also eine möglichst einfache Kalibrierung eines Messsystems erlauben, wobei das Messsystem einen Systemrechner und ein Messgerät mit einem Lasertracker und einem optoelektronischen Sensor aufweist sowie ein Messhilfsinstrument mit mindestens drei Lichtpunkten und mindestens einem Reflektor. Die Kalibrierung besteht aus Mess- und Berechnungsschritten und die dabei erhaltenen Daten sollen es ermöglichen, durch Messungen des Lasertrackers ermittelte Daten bezüglich des Messhilfsinstruments und durch Messungen des optoelektronischen Sensors ermittelte Daten bezüglich des Messhilfsinstruments miteinander zu koppeln, derart, dass aus allen Messungen stammende Daten jederzeit auf ein gemeinsames Koordinatensystem beispielsweise bezüglich der Lasertrackers bezogen werden können. Die Messschritte der erfindungsgemässen Kalibrierung, für die die erfindungsgemässe Kalibriervorrichtung eingesetzt wird, soll derart einfach sein, dass sie jederzeit von einem Benutzer des Messsystems, beispielsweise bei Inbetriebnahme eines neuen Messhilfsinstruments, mit einer hohen Genauigkeit durchführbar sind.

Die Aufgabe wird gelöst durch Verfahren und Vorrichtung, wie sie in den Patentansprüchen definiert sind.

Die Schritte des erfindungsgemässen Kalibrierverfahrens sind im wesentlichen die folgenden:

- Wenn das Messhilfsinstrument weniger als drei Reflektoren aufweist, wird die Zahl der Reflektoren mit Hilfsreflektoren auf mindestens drei ergänzt.
5 Gegebenenfalls werden die relativen Positionen der Reflektoren und der Hilfsreflektoren bestimmt.
- Das Messhilfsinstrument gegebenenfalls zusammen mit den Hilfsreflektoren wird um mindestens zwei relativ zum Messhilfsinstrument voneinander verschiedene Drehachsen bewegt. Für jede einzelne der Drehachsen werden in
10 mindestens zwei Drehpositionen mit Hilfe des optoelektronischen Sensors die Lichtpunkte auf dem Messhilfsinstrument registriert, wobei bei jeder Messung die mindestens drei Lichtpunkte registriert werden. Für jede Drehachse werden in mindestens zwei Drehpositionen mit Hilfe des Lasertrackers die mindestens drei Reflektoren registriert. Während diesen Messungen bleibt die
15 Position des Messgerätes unverändert.
- Aus den im vorangehenden Messschritt registrierten Messdaten des Lasertrackers und des optoelektronischen Sensors werden für alle Drehpositionen des Messhilfsinstrumentes Position und Orientierung der Reflektoranordnung relativ zum Lasertracker und der Lichtpunktanordnung relativ zum optoelektronischen Sensor berechnet.
20
- Aus den Positionen und Orientierungen der Reflektoranordnung und der Lichtpunktanordnung werden Richtung und Lage der mindestens zwei Drehachsen relativ zur Reflektoranordnung und relativ zur Lichtpunktanordnung

berechnet. Dafür werden Daten bezüglich der bekannten, relativen Positionen der Lichtpunkte und gegebenenfalls der Reflektoren benötigt.

- Dann werden einander entsprechende Drehachsen, die relativ zur Reflektoranordnung einerseits und relativ zur Lichtpunktanordnung andererseits berechnet wurden, einander gleichgesetzt und aus dieser Gleichsetzung werden Kalibrierdaten errechnet, die für das kalibrierte Paar von Messgerät und Messhilfsinstrument Messdaten-Transformationen vom Tracker/Reflektorsystem ins Sensor/Lichtpunkt-System und umgekehrt ermöglichen. Solche Kalibrierdaten sind beispielsweise notwendig zur Berechnung einer beliebigen Position und Orientierung des Messhilfsinstruments bezüglich eines beliebigen Koordinatensystems aus Messdaten von Tracker und Sensor.

Die erfindungsgemässe Vorrichtung dient dazu, das Messhilfsinstrument gegebenenfalls mit Hilfsreflektoren zu kombinieren und in die verschiedenen Drehpositionen um die verschiedenen Drehachsen zu bringen. Sie weist dafür Montagemittel zur genau definierten Montage des Messhilfsinstrumentes in verschiedenen Orientierungen auf, wobei auch das Messhilfsinstrument mit Montagemitteln, die mit den Montagemitteln der Kalibriervorrichtung kooperieren, ausgerüstet sein kann. Wenn für die Kalibrierung Hilfsreflektoren notwendig sind (Messhilfsinstrument weist weniger als drei Reflektoren auf), weist die Vorrichtung zusätzlich ein Reflektorelement auf, das mit dem Messhilfsinstrument starr verbindbar ist und das zusammen mit dem Messhilfsinstrument in den verschiedenen Orientierungen montiert wird.

Die Vorrichtung weist beispielsweise einen Drehtisch auf, auf dem das Messhilfsinstrument gegebenenfalls zusammen mit dem Reflektorelement in mindestens zwei verschiedenen Orientierungen montierbar ist, wobei für eine Bewegung in verschie-

dene Drehpositionen der Drehtisch gedreht wird. Die Vorrichtung kann auch rotationsfrei ausgebildet sein und Montagepositionen und Orientierungen für das Messhilfsinstrument gegebenenfalls zusammen mit dem Reflektorenelement zur Verfügung stellen, die verschiedenen Drehpositionen um mindestens zwei relativ zum

5 Messhilfsinstrument verschiedene Drehachsen darstellen.

Das erfindungsgemässe Verfahren und die erfindungsgemässe Vorrichtung werden anhand der folgenden Figuren mehr im Detail beschrieben. Alle Figuren zeigen die gleiche vorteilhafte Ausführungsform der Anordnung von Reflektoren und Zielpunkten auf dem Messhilfsinstrument, die aber für die Erfindung keine Bedingung

10 darstellt. Von den Figuren zeigen:

Figur 1 ein beispielhaftes, an sich bekanntes Messsystem, für das das erfindungsgemässe Kalibrierverfahren und die erfindungsgemässe Kalibriervorrichtung anwendbar sind;

Figur 2 das für die Kalibrierung mit Hilfsreflektoren versehene Messhilfsinstrument des Messsystems gemäss Figur 1;

15

Figur 3 eine beispielhafte Ausführungsform der erfindungsgemässen Kalibrier-
vorrichtung für das Messsystem gemäss Figur 1;

Figuren 4 bis 6 Illustrationen zu den aufeinanderfolgenden Schritten des erfindungsgemässen Kalibrierverfahrens;

Figur 7 ein auch als Lichtpunkt ausgerüsteter Reflektor zur Anwendung am Messhilfsinstrument.

20

Figur 1 zeigt in einer sehr schematischen Art ein beispielhaftes, an sich bekanntes Messsystem, das nach dem erfindungsgemässen Verfahren und mit Hilfe der erfindungsgemässen Vorrichtung kalibrierbar ist. Das Messsystem weist ein Messgerät 1 auf, in dem ein Lasertracker 2 und ein optoelektronischer Sensor 3 derart aufeinander montiert oder ineinander integriert sind, dass ihre relative Position unveränderbar ist. Das Messsystem weist ferner einen nicht dargestellten Systemrechner auf.

Das Messsystem weist ferner ein Messhilfsinstrument 4 auf, das im dargestellten Fall einen Reflektor 5 und vier identifizierbare Lichtpunkte 6 aufweist. In der Figur 1 wie auch in allen folgenden Figuren sind nur die für die Kalibrierung relevanten Teile des Messhilfsinstruments dargestellt, nämlich die Anordnung von Reflektor 5 und Lichtpunkten 6. Das Messhilfsinstrument kann irgend eine für seine messtechnische Funktion geeignete Form aufweisen. Der Reflektor 5 ist ausgerüstet für eine parallele Reflexion des Messstrahles 7 des Lasertrackers 2. Es handelt sich beispielsweise um ein Würfeckenprisma. Die Lichtpunkte 6 sind für eine Registrierung durch den optoelektronischen Sensor bestimmt und sind beispielsweise LEDs oder reflektierende und für Messungen entsprechend zu beleuchtende Punkte. Sie sind entweder durch ihre relative Anordnung oder durch entsprechende Identifikationsmittel eindeutig identifizierbar.

Eine dreidimensionale Anordnung (nicht in einer Ebene) der vier Lichtpunkte 6 und eine Anordnung des Reflektors 5 in einem zentralen Bereich der Lichtpunktanordnung sind bekannterweise für Messungen vorteilhaft. Auch für die erfindungsgemässe Kalibrierung sind sie vorteilhaft aber sie stellen keine Bedingung dar. Ein Messhilfsinstrument mit einem einzigen Reflektor ist insbesondere vorteilhaft für Anwendungen, in denen das Messhilfsinstrument 4 vom Lasertracker 2 automatisch verfolgt wird.

Das Messhilfsinstrument 4 ist wie weiter oben bereits erwähnt beispielsweise ein Tastwerkzeug, dessen Kontaktpunkt auf zu vermessenden Punkten positioniert wird, oder ein Scanner, der zur Distanzmessung ausgerüstet ist und für eine berührungsfreie Vermessung von Oberflächen beispielsweise von Hand über diese hinweggeführt wird.

Figur 2 zeigt das Messhilfsinstrument 4 der Figur 1, das mit vier Hilfsreflektoren 5' kombiniert ist. Diese Hilfsreflektoren 5' sind auf einem Reflektorenelement 10 (z.B. Reflektorenplatte) angeordnet. Das Reflektorenelement 10 ist für ein Messhilfsinstrument mit weniger als drei Reflektoren ein notwendiger Bestandteil der Kalibrier-
10 vorrichtung. Es ist mit dem Messhilfsinstrument starr verbindbar ist. Die Anordnung der insgesamt beispielsweise fünf Reflektoren ist vorteilhafterweise dreidimensional.

Figur 3 zeigt eine beispielhafte Ausführungsform der erfindungsgemässen Kalibriervorrichtung 9, auf der das Messhilfsinstrument gemäss Figuren 1 und 2 montiert ist. Die Vorrichtung weist die bereits in Figur 2 gezeigte, starr mit dem Messhilfsinstrument verbindbare Reflektorenelement 10 auf sowie einen Drehtisch 11 mit einer
15 Drehachse C, auf dem fest ein beispielsweise keilförmiges Orientierungselement 12 montiert ist. Das Orientierungselement 12 weist nicht näher dargestellte Mittel auf, mit deren Hilfe das Messhilfsinstrument 4 bzw. das Messhilfsinstrument 4 und das damit starr verbundene Reflektorenelement in mindestens zwei verschiedenen Ori-
20 entierungen montierbar ist. Anstelle des Drehtisches 11 kann auch ein Element vorgesehen werden, das mindestens zwei Gruppen von je mindestens zwei Montagepositionen für das Messhilfsinstrument 4 gegebenenfalls zusammen mit dem Reflektorenelement 10 aufweist, wobei die Orientierungen jeder Gruppe derart sind, dass sie durch Drehung um eine virtuelle Drehachse ineinander überführbar sind.

Es scheint, dass theoretisch der Winkel zwischen den beiden mit dem Kalibrierwerkzeug erstellbaren relativ zum Messhilfsinstrument verschiedenen Drehachsen optimal 90° beträgt. Bei der Verwendung von Reflektoren mit einem Öffnungswinkel von $\pm 20^\circ$ kann dieser Winkel nur etwa 25 bis 30° sein, womit aber eine genügende Genauigkeit erzielt werden kann.

Figuren 4 und 5 zeigen die Messanordnung für das erfindungsgemässe Verfahren. Das Messgerät 1 wird vorteilhafterweise derart relativ zur Kalibriervorrichtung 9 positioniert, dass die optische Achse des optoelektronischen Sensors 3 etwa auf die Drehachse C des Drehtisches ausgerichtet ist und derart, dass die Lichtpunktanordnung des Messhilfsinstruments 4 in allen vorgesehenen Drehpositionen vollständig und möglichst gross auf der Bildfläche des optoelektronischen Sensors abgebildet werden kann.

Figur 4 zeigt die Messanordnung für eine erste und Figur 5 die gleiche Messanordnung für eine zweite Drehachse relativ zum Messhilfsinstrument 4. Die beiden Messanordnungen unterscheiden sich dadurch, dass das Messhilfsinstrument 4 zusammen mit dem Reflektorenelement 10 auf dem Orientierungselement 12 um 180° gedreht ist, derart, dass die Drehachse C das Messhilfsinstrument 4 in beiden Fällen vorteilhafterweise in einem mittleren Bereich aber in zwei verschiedenen Richtungen und vorteilhafterweise an zwei verschiedenen Orten durchläuft.

Wenn die relativen Positionen der Lichtpunkte und gegebenenfalls der Reflektoren und Hilfsreflektoren nicht vorgängig bekannt sind, sind diese für die Berechnung der Kalibrierdaten zu ermitteln. Die relativen Positionen der Lichtpunkte werden beispielsweise ermittelt durch mehrfache Registrierung mit dem optoelektronischen Sensor oder einem mit gleichen Funktionen ausgestatteten Gerät und Bündelausgleich. Dafür wird ein der Lichtpunktanordnung eigenes Koordinatensystem 30 ge-

wählt, das vorteilhafterweise einen Ursprung im zentralen Bereich der Lichtpunktanordnung hat und dessen z-Achse in der Kalibrieranordnung gegen das Messgerät 1 gerichtet ist. Die relativen Positionen der Reflektoren werden beispielsweise mit dem Tracker oder mit einem anderen Gerät mit ähnlichen Funktionen ermittelt. Dafür
5 wird ein der Reflektoranordnung eigenes Koordinatensystem 31 gewählt, dessen Ursprung in einem der Hilfsreflektoren liegt und dessen z-Achse senkrecht auf der Reflektorplatte steht.

Aus den Messdaten, die aus den Messungen mit den Messanordnungen gemäss Figuren 4 und 5 von Lasertracker und optoelektronischem Sensor resultieren und die je
10 mindestens zwei Drehpositionen um mindestens zwei relativ zum Messhilfsinstrument verschiedene Drehachsen je für die Lichtpunktanordnung und die Reflektoranordnung betreffen, werden Daten bezüglich der relativen Positionen und Orientierungen der Lichtpunktanordnung relativ zum optoelektronischen Sensor und Daten der relativen Positionen und Orientierungen der Reflektoranordnung relativ zum La-
15 sertracker berechnet, wofür verschiedene, an sich bekannte mathematische Modelle zur Verfügung stehen.

Die Positionen und Orientierungen der Lichtpunktanordnung relativ zum optoelektronischen Sensor werden beispielsweise mit einer iterativen Rückwärtseinschnitt-Methode berechnet, wobei als Startwerte eine Position des Ursprungs des Koordina-
20 tensystems 30 auf der optischen Achse des optoelektronischen Sensors und eine auf Parallelprojektion beruhende Rotationsmatrix mit der genannten optischen Achse als Rotationsachse verwendet werden.

Die Positionen und Orientierungen der Reflektoranordnung relativ zum Lasertracker können beispielsweise mittels Ausrichtung der lokalen Achsen (local axis alignment)
25 errechnet werden, wozu die relativen Positionen der Reflektoren in der Reflektoranordnung

ranordnung bekannt sein müssen, oder mittels eines mathematischen Kreismodells (z.B. Axyz-Modul von Leica) berechnet werden.

- 5 In einem weiteren Berechnungsschritt werden aus den zu je einer Drehachse gehörenden Positionen und Orientierungen der Lichtpunktanordnung und der Reflektoranordnung Richtung und Position der jeweiligen Drehachse in den Koordinatensystemen 30 und 31 berechnet. In der Figur 6 sind die Reflektoranordnung und die Lichtpunktanordnung mit den Koordinatensystemen 30 und 31 separat dargestellt und die zwei Drehachsen in den beiden Systemen mit 1A und 1B einerseits und 2A und 2B andererseits bezeichnet.
- 10 In einem dritten Berechnungsschritt werden im Prinzip die Achsen 1A und 1B bzw. die Achsen 2A und 2B einander gleichgesetzt, woraus die gesuchten Kalibrierungsdaten resultieren, die eine Koordinatentransformation vom Koordinatensystem 30 in das Koordinatensystem 31 oder umgekehrt erlauben oder allgemeiner eine Transformation von vom Lasertracker bezüglich Reflektor (oder Reflektoren) des Messhilfsinstrumentes erzeugten Messdaten auf Berechnungen, die sich auf Messdaten
- 15 vom optoelektronischen Sensor bezüglich der Lichtpunkte des Messhilfsinstrumentes beziehen.

- Die erzeugten Kalibrierdaten werden im Systemrechner gespeichert und für folgende Messvorgänge gespeichert. Wenn in einem Messsystem verschiedene Messhilfsinstrumente verwendet werden, wird die Kalibrierung für jedes der Instrumente durchgeführt und die Kalibrierdaten zusammen mit einer Instrumentenidentifikation gespeichert. Für die Kalibrierung benötigte Algorithmen und Programme und vorteilhafterweise Vorgaben für eine Bedienungsperson zur Durchführung der Messschritte des Kalibrierverfahrens sind ebenfalls im Systemrechner gespeichert und für die
- 20 Durchführung des Kalibrierverfahrens aktivierbar.
- 25

Figur 7 zeigt, in wiederum sehr schematischer Art ein als Reflektor 5 einsetzbares Würfeckenprisma, das gleichzeitig als Lichtpunkt ausgestaltet ist. Das modifizierte Würfeckenprisma weist anstelle der effektiven Würfecke eine zur Eintritts- und Austrittsfläche 40 parallele Fläche 41 auf, die kleiner ist als der Durchmesser des

5 Messstrahles des Lasertrackers. Hinter der Fläche 41 ist eine Lichtquelle 42, z.B. eine Leuchtdiode angeordnet, die die Fläche 41 zu einem vom optoelektronischen Sensor detektierbaren Lichtpunkt macht. Wird anstelle des Reflektors 5 des Messhilfsinstrumentes gemäss Figur 1 ein derart kombinierter Reflektor/Leuchtpunkt verwendet,

10 der einen gleichen Punkt sowohl im Koordinatensystem der Lichtpunktanordnung und im Koordinatensystem der Reflektoranordnung darstellt, vereinfacht sich die Kalibrierung. Allerdings ist für die Registrierung des entsprechenden Lichtpunktes mit dem optoelektronischen Sensor eine Korrektur vorzunehmen, die von einer Abweichung der Richtung zwischen dem optoelektronischen Sensor und der Fläche 40,

15 von der Höhe des Prismas zwischen den Flächen 40 und 41 und vom Brechungsindex des Prismenmaterials abhängig ist.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Kalibrierung eines Messsystems, das ein Messgerät (1) mit einem Lasertracker (2) und einem optoelektronischen Sensor (3) in relativ zueinander unveränderbaren Positionen, ein Messhilfsinstrument (4) und einen Systemrechner aufweist, wobei am Messhilfsinstrument (4) mindestens ein Reflektor (5) zur Reflexion eines vom Lasertracker (2) darauf gerichteten Messstrahles (7) und mindestens drei vom optoelektronischen Sensor (3) registrierbare Lichtpunkte (6) in einer bekannten Lichtpunktanordnung angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Messhilfsinstrument (4), wenn es weniger als drei Reflektoren (5) aufweist, mit einer Anordnung von Hilfsreflektoren (5') starr verbunden wird, dass das Messhilfsinstrument (4) gegebenenfalls zusammen mit der Anordnung von Hilfsreflektoren (5') um mindestens zwei relativ zum Messhilfsinstrument (4) voneinander verschiedene Drehachsen bewegt wird, dass in mindestens je zwei Drehpositionen um jede der mindestens zwei Drehachsen durch den Lasertracker (2) bezüglich der mindestens drei Reflektoren (5) und gegebenenfalls Hilfsreflektoren (5') und durch den optoelektronischen Sensor (3) bezüglich der mindestens drei Lichtpunkte (6) Messdaten registriert werden, dass aus den Messdaten des Lasertrackers (2) Positionen und Orientierungen der Reflektoranordnung relativ zum Lasertracker (2) und aus den Messdaten des optoelektronischen Sensors (3) Positionen und Orientierungen der Lichtpunktanordnung relativ zum optoelektronischen Sensor (3) berechnet werden, dass aus den Positionen und Orientierungen der beiden Anordnungen die mindestens zwei Drehachsen (1A, 2A) relativ zur Reflektoranordnung und die mindestens zwei Drehachsen (1B, 2B) relativ zur Lichtpunktanordnung berechnet werden und dass durch Gleichsetzung der gleichen Drehachsen (1A mit 1B, 2A mit 2B) in den beiden Anordnungen Kalibrierdaten berechnet und im Systemrechner gespeichert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei relativ zum Messhilfsinstrument (4) verschiedenen Drehachsen erzeugt werden, dadurch, dass das Messhilfsinstrument (4) gegebenenfalls zusammen mit der Anordnung von Hilfsreflektoren (5') in mindestens zwei relativ zu einer stationären Drehachse verschiedenen Orientierungen montiert wird und dass es in jeder der Orientierungen um die stationäre Drehachse (C) bewegt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass die mindestens zwei relativ zum Messhilfsinstrument (4) verschiedenen Drehachsen erzeugt werden, dadurch, dass das Messhilfsinstrument (4) gegebenenfalls zusammen mit der Anordnung von Hilfsreflektoren (5') in mindestens zwei verschiedenen ersten Orientierungen und in mindestens zwei zweiten Orientierungen montiert wird, wobei die zweiten Orientierungen derart gewählt werden, dass jede erste Orientierung durch Drehung um eine virtuelle Drehachse (C) in mindestens eine zweite Orientierung überführbar ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die stationäre Drehachse (C) durch einen mittleren Bereich der Reflektoranordnung und der Lichtpunktanordnung verläuft.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Winkel zwischen den relativ zum Messhilfsobjekt verschiedenen Drehachsen mindestens 25 bis 30° beträgt.
6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass für den Schritt der Registrierung der Messdaten die optische Achse des optoelektroni-

schen Sensors (3) etwa auf die stationäre bzw. virtuelle Drehachse (C) gelegt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass für den Schritt der Berechnung der Positionen und Orientierungen der Lichtpunktanordnung relativ zum optoelektronischen Sensor (3) eine iterative Zurück-einschnitt-Methode verwendet wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass für die Berechnung der Positionen und Orientierungen der Reflektoranordnung relativ zum Lasertracker (2) eine Methode der Ausrichtung der lokalen Achsen angewendet wird, wobei dafür vorgängig die relativen Positionen der Reflektoren (5) und gegebenenfalls der Hilfsreflektoren (5') bestimmt wird.
9. Vorrichtung zur Kalibrierung eines Messsystems, das ein Messgerät (1) mit einem Lasertracker (2) und einem optoelektronischen Sensor (3) in relativ zueinander unveränderbaren Positionen, ein Messhilfsinstrument (4) und einen Systemrechner aufweist, wobei am Messhilfsinstrument (4) mindestens ein Reflektor (5) zur Reflexion eines vom Lasertracker (2) darauf gerichteten Messstrahles (7) und mindestens drei vom optoelektronischen Sensor (3) registrierbare Lichtpunkte (6) in relativ zueinander bekannten Positionen angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung (9) Montagemittel aufweist, mit denen das Messhilfsinstrument (4) in mindestens zwei verschiedenen Orientierungen auf der Vorrichtung (9) montierbar ist und dass die Vorrichtung (9) ferner Positionierungsmittel aufweist, mit denen sie relativ zum Messgerät (1) derart positionierbar ist, dass das darauf montierte Messhilfsinstrument (4) in jeder der Orientierungen durch den Lasertracker (2) und den optoelektronischen Sensor (3) des Messgerätes (1) vermessbar ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass sie zusätzlich ein Reflektorenelement (10) mit mindestens einem Hilfsreflektor (5') aufweist, welches Reflektorenelement (10) zusammen mit dem Messhilfsinstrument (4) und starr mit diesem verbunden mittels der Montagemittel in den verschiedenen Orientierungen montierbar ist.
- 5
11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Messhilfsinstrument (4) auf dem Reflektorenelement (10) montierbar ist und dass dieses mit dem darauf montierten Messhilfsinstrument (4) in den mindestens zwei Orientierungen montierbar ist.
- 10 12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung einen Drehtisch (11) und ein auf dem Drehtisch montiertes Orientierungselement (12) aufweist und dass die Montagemittel auf dem Orientierungselement (12) angeordnet sind.
- 15 13. Vorrichtung nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Orientierungselement (12) keilförmig ist.
14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 oder 13, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Montagemittel derart angeordnet sind, dass die Drehachse (C) des Drehtisches (11) durch einen mittleren Bereich der Lichtpunktanordnung des darauf montierten Messhilfsinstruments (4) verläuft.
- 20 15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 11, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vorrichtung Montagemittel aufweist, mit denen das Messhilfsinstrument (4) in mindestens vier Orientierungen montierbar ist, wobei je mindestens

zwei der Orientierungen durch Drehung um eine virtuelle Drehachse ineinander überführbar sind.

16. Messsystem, das ein Messgerät (1) mit einem Lasertracker (2) und einem optoelektronischen Sensor (3) in relativ zueinander unveränderbaren Positionen, ein
5 Messhilfsinstrument (4) und einen Systemrechner aufweist, wobei am Messhilfsinstrument (4) mindestens ein Reflektor (5) zur Reflexion eines vom Lasertracker (2) darauf gerichteten Messstrahles (7) und mindestens drei vom optoelektronischen Sensor (3) registrierbare Lichtpunkte (6) in einer bekannten
10 Lichtpunktanordnung angeordnet sind, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Systemrechner zur Durchführung der Berechnungsschritte des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 ausgerüstet ist, dass der Systemrechner einen Speicherplatz für die nach dem Verfahren berechneten Kalibrierdaten aufweist und dass der Systemrechner ferner für Rechenschritte, in denen die gespeicherten Kalibrierdaten verwendet werden, ausgerüstet ist.
- 15 17. Messsystem nach Anspruch 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Messhilfsinstrument (4) Mittel für die Montage auf einer Vorrichtung nach einem der Ansprüche 9 bis 15 aufweist.
18. Messsystem nach einem der Ansprüche 16 oder 17, **dadurch gekennzeichnet**,
20 dass mindestens einer der Reflektoren (5) des Messhilfsinstrumentes (4) ein Würfeckenprisma ist, dessen Eckbereich fehlt, und dass hinter dem entfernten Eckbereich ein durch den optoelektronischen Sensor (3) registrierbarer Lichtpunkt (6) angeordnet ist.

ZUSAMMENFASSUNG

Ein Messsystems das ein Messgerät (1) mit einem Lasertracker (2) und einem optoelektronischen Sensor (3) in relativ zueinander unveränderbaren Positionen, einen Systemrechner und ein Messhilfsinstrument (4) mit einem Reflektor (5) und mindestens drei Lichtpunkten (6) aufweist, wird mit den folgenden Kalibrierschritten kalibriert: Das Messhilfsinstrument (4) wird mit einer Anordnung von Hilfsreflektoren (5') starr verbunden und um mindestens zwei relativ zum Messhilfsinstrument (4) voneinander verschiedene Drehachsen bewegt wird. In mindestens je zwei Drehpositionen um jede der mindestens zwei Drehachsen werden durch den Lasertracker (2) Reflektor und Hilfsreflektoren (5') und durch den optoelektronischen Sensor (3) die Lichtpunkte (6) registriert. Aus den Messdaten des Lasertrackers (2) werden Positionen und Orientierungen der Reflektoranordnung relativ zum Lasertracker (2) und aus den Messdaten des optoelektronischen Sensors (3) Positionen und Orientierungen der Lichtpunktanordnung relativ zum optoelektronischen Sensor (3) berechnet und daraus die mindestens zwei Drehachsen relativ zur Reflektoranordnung bzw. zur Lichtpunktanordnung berechnet. Dann werden aus einer Gleichsetzung der einander entsprechenden Drehachsen Kalibrierdaten errechnet. Für die Messschritte wird eine Kalibriervorrichtung (9) verwendet, die einen Drehtisch (11) und einen darauf montierten Keil (12) aufweist, wobei das Messhilfsinstrument (4) in zwei verschiedenen Orientierungen auf dem Keil (12) montierbar ist. Die Messschritte der Kalibrierung werden dadurch sehr einfach.

(Figur 4)

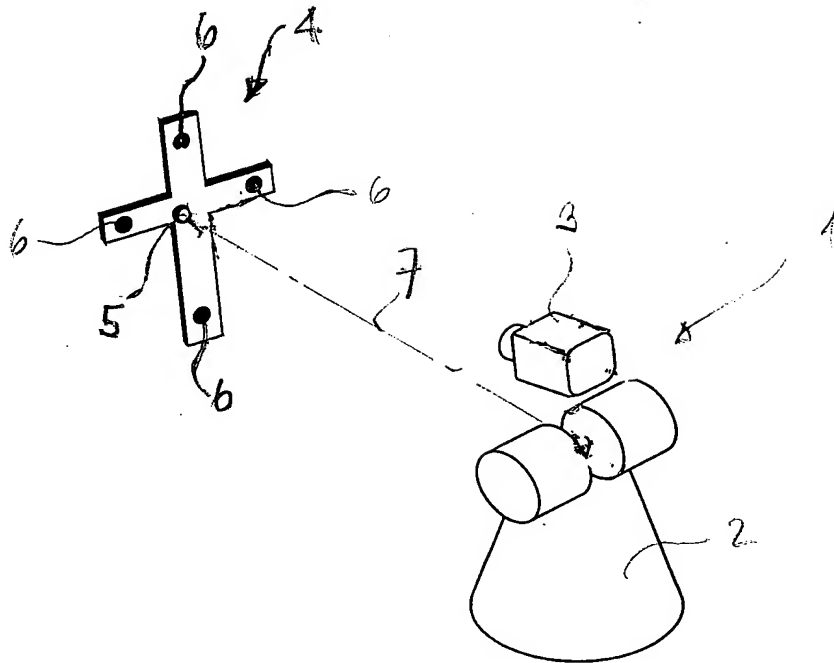


Fig 1

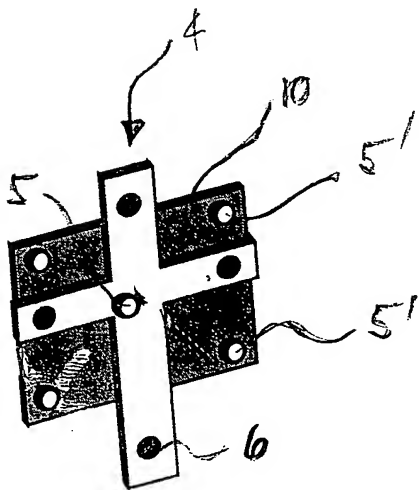


Fig 2

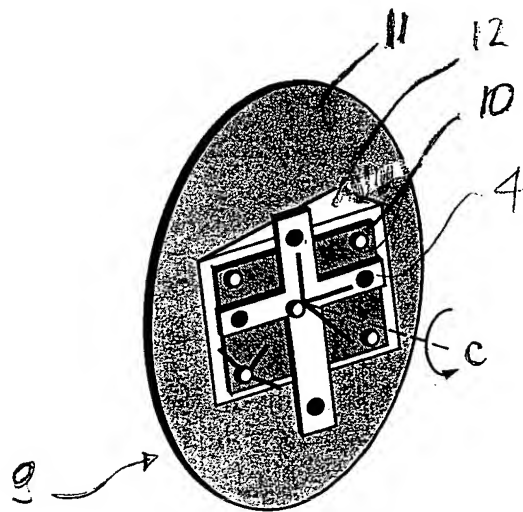


Fig 3

Unveränderliches Exemplar
 Exemplar Invariable
 Exemplar Inmutabile

213

1923/02

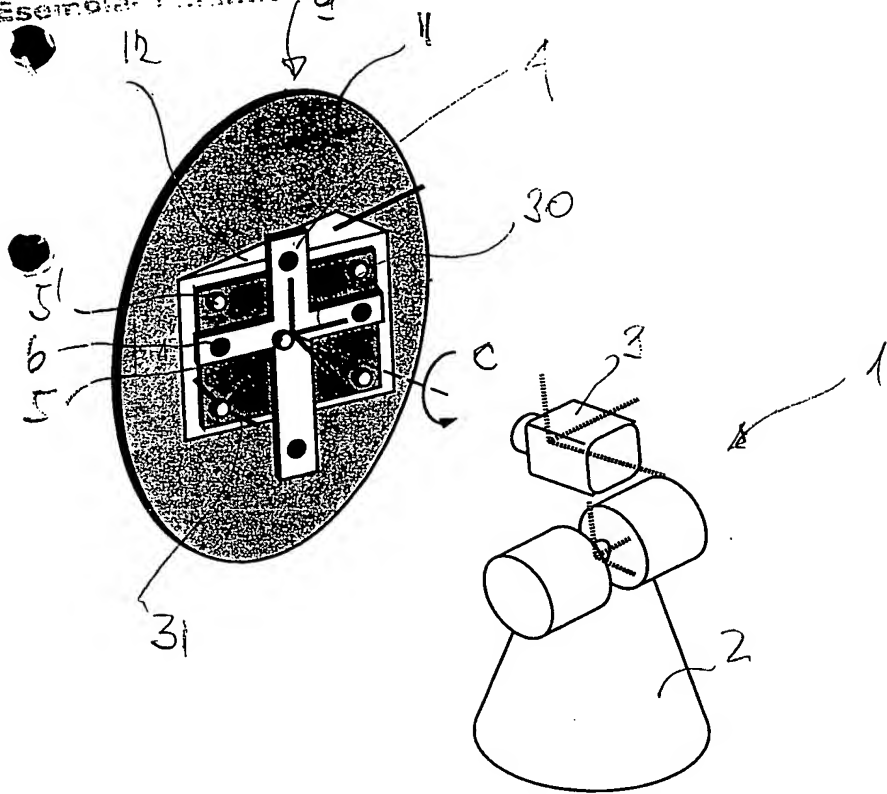


Fig 4

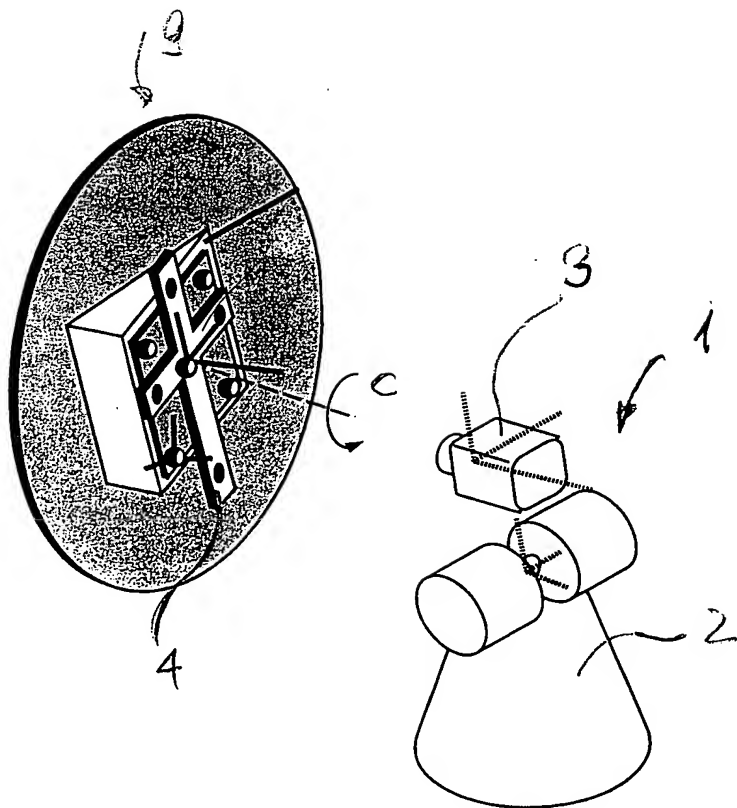


Fig 5

313

1993/02

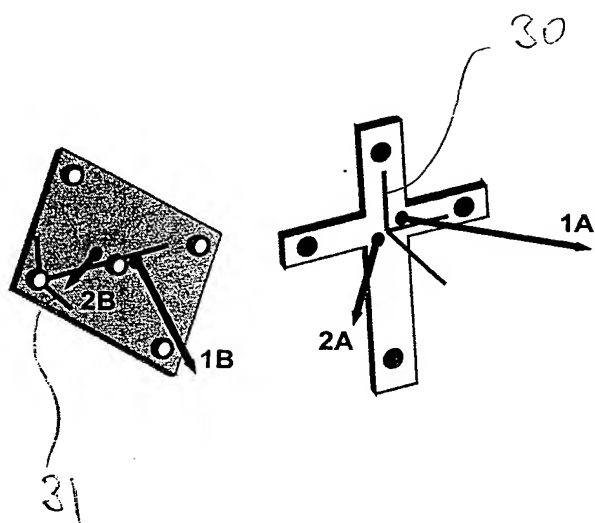


Fig 6

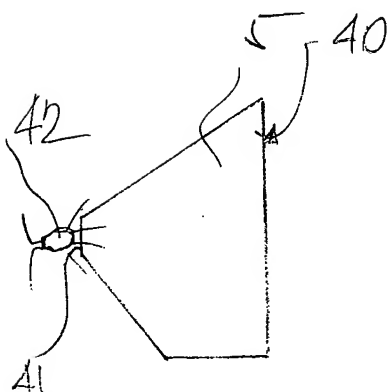


Fig 7